

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-313095

(43)Date of publication of application : 29.11.1996

(51)Int.Cl.

F25B 9/14  
F25B 9/00

(21)Application number : 07-117500

(22)Date of filing : 16.05.1995

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

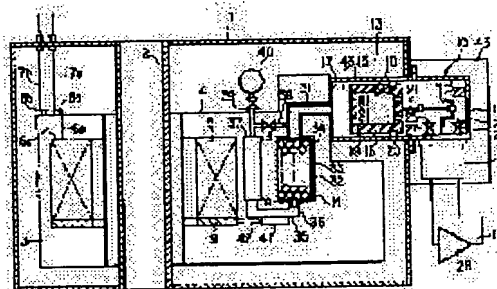
(72)Inventor : KURIYAMA TORU  
TAKAHASHI MASAHIKO  
ROOHANA CHIYANDORATEIRAKA  
YOSHINO TATSUYA  
KOBAYASHI TAKAYUKI

## (54) COLD STORAGE TYPE REFRIGERATING MACHINE

(57)Abstract:

PURPOSE: To improve the adaptability to an object to be cooled and to improve the refrigerating capacity of a final stage cooler.

CONSTITUTION: In a cold storage type refrigerating machine which employs the type of a plurality of expansion stages by providing a plurality of stages of cold storage units, a final cooler 14 for generating the lowest temperature constitutes a pulse tube refrigerating machine, and the axial center line of the pulse tube 37 for forming a pulses tube refrigerator is substantially parallel to that of a cold storage unit 32, and a certain angle difference is provide between the axial center line and those of the unit 32.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the  
examiner's decision of rejection or application converted  
registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of  
rejection][Date of requesting appeal against examiner's decision of  
rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-313095

(43) 公開日 平成8年(1996)11月29日

(51) IntCl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
F 2 5 B 9/14	5 4 0		F 2 5 B 9/14	5 4 0
9/00	3 1 1		9/00	3 1 1

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平7-117500

(22) 出願日 平成7年(1995)5月16日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 栗山 透

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 高橋 政彦

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 ローハナ・チャンドラティラカ

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

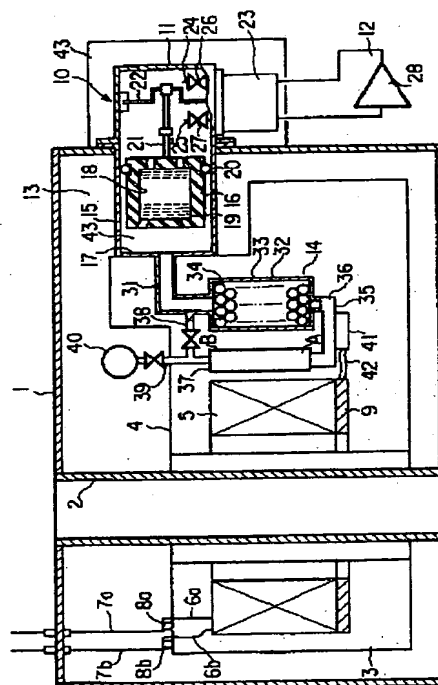
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 蓄冷式冷凍機

(57) 【要約】

【目的】 冷却対象への適応性の向上および最終段冷却部の冷凍能力向上を図れる蓄冷式冷凍機を提供する。

【構成】 蓄冷器を複数段備えて複数段膨張方式を採用する蓄冷式冷凍機において、最低温度を発生させる最終段冷却部14がパルスチューブ冷凍機を構成しており、パルスチューブ冷凍機を構成するパルスチューブ37の軸心線と蓄冷器32の軸心線とがほぼ平行で、かつこれらの軸心線と最終段冷却部以外の冷却部13における軸心線との間にある角度差を有している。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】蓄冷器を複数段備えて複数段膨張方式を採用する蓄冷式冷凍機において、最低温度を発生させる最終段冷却部はパルスチューブ冷凍機を構成しており、上記パルスチューブ冷凍機を構成するパルスチューブの軸心線と蓄冷器の軸心線とがほぼ平行で、かつこれらの軸心線と最終段冷却部以外の冷却部における軸心線との間に角度差を設けたことを特徴とする蓄冷式冷凍機。

【請求項2】前記角度差が90度あるいは180度であることを特徴とする請求項1に記載の蓄冷式冷凍機。

【請求項3】前記パルスチューブ冷凍機を構成している蓄冷器には、極低温下での磁気異常比熱を利用した磁性蓄冷材が収容されていることを特徴とする請求項1に記載の蓄冷式冷凍機。

【請求項4】少なくとも1段目の冷却部は、ギフォード・マクマホン冷凍サイクル、スターリング冷凍サイクル、修正型ソルベール冷凍サイクルのいずれかに構成されていることを特徴とする請求項1に記載の蓄冷式冷凍機。

【請求項5】前記パルスチューブの低温部が重力方向下部に、高温部が重力方向上部に位置するように配置したことを特徴とする請求項1に記載の蓄冷式冷凍機。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、蓄冷器を複数段備えて複数段膨張方式を採用する蓄冷式冷凍機に関する。

【0002】

【従来の技術】周知のように、現在実用化されている超電導磁石装置の多くは、断熱容器内に超電導コイルと液体ヘリウムで代表される極低温冷媒とを一緒に収容する浸漬冷却方式を採用するとともに断熱容器の断熱層中に設けられたサーマルシールドを極低温冷凍機で冷却する方式を採用している。また、最近では断熱容器内に収容された超電導コイルを極低温冷凍機で直接的に冷却する冷凍機直冷方式の超電導磁石装置も実用化されつつある。

【0003】ところで、このような超電導磁石装置では、小型で、しかも十分に低い到達温度が得られるなどの理由から、極低温冷凍機として蓄冷式冷凍機を用いているものが多い。このような蓄冷式冷凍機は、通常、蓄冷器を複数段備えて複数段膨張方式を採用するとともに冷却システム全体への高圧ガスの導入および上記冷却システム全体からのガス排出を交互に行うガス制御系を常温部に備えている。その代表的なものとしてギフォード・マクマホン冷凍サイクルを採用した蓄冷式冷凍機を挙げることができる。

【0004】ギフォード・マクマホン冷凍サイクルを採用した蓄冷式冷凍機は、第1段の冷却部から最終段の冷却部に至るまで各段毎にディスプレーサを備え、これらディスプレーサに各段の蓄冷材を保持する機能と膨張室

の一部を構成する機能とを発揮させている。

【0005】しかしながら、このように構成された蓄冷式冷凍機では、各段毎にディスプレーサを機械的に連結して各冷却部を同軸的に配置する必要があるため、冷却部の段数を増やすと冷凍機の全長が長くなり、これが原因して冷却対象の構造が制限されるという問題があった。また、最終段冷却部にも摺動シール要素を必要とするため、このシール部からのガス漏れを低減することが困難で、最終段冷却部の冷凍能力を向上させることが本質的に困難であった。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】上述の如く、従来の蓄冷式冷凍機にあっては、冷凍機全体の全長が長く、冷却対象の構造が制限されるばかりか、最終段冷却部の冷凍能力を向上させることが本質的に困難であった。

【0007】そこで本発明は、上記の不具合を解消でき、冷却対象への適応性の向上および最終段冷却部の冷凍能力向上を図れる蓄冷式冷凍機を提供することを目的としている。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は、蓄冷器を複数段備えて複数段膨張方式を採用する蓄冷式冷凍機において、最低温度を発生させる最終段冷却部がパルスチューブ冷凍機を構成しており、上記パルスチューブ冷凍機を構成するパルスチューブの軸心線と蓄冷器の軸心線とがほぼ平行で、かつこれらの軸心線と最終段冷却部以外の冷却部における軸心線との間に角度差を設けたことを特徴としている。

【0009】なお、冷凍機全体の全長を短くするために、前記角度差が90度あるいは180度であることが好ましい。また、前記冷却システムの前記最終段冷却部より高温側に位置する冷却部は、ギフォード・マクマホン冷凍サイクル、スターリング冷凍サイクル、修正型ソルベール冷凍サイクルのいずれでもよい。また、パルスチューブの低温部が重力方向下部に、高温部が重力方向上部に位置するように配置することが望ましい。

【0010】

【作用】最終段冷却部がパルスチューブ冷凍機を構成しており、このパルスチューブ冷凍機を構成するパルスチューブの軸心線と蓄冷器の軸心線とがほぼ平行で、かつこれらの軸心線と最終段冷却部以外の冷却部における軸心線との間に角度差を有しているため、たとえば角度差を90度や180度に設定すると、従来の冷凍機に比べて大幅に全長を短くでき、各種の冷却対象への適応性を高めることができる。

【0011】なお、パルスチューブ冷凍機の場合、パルスチューブの低温部を重力方向下部に、高温部を重力方向下部に配置すると、温度の低い密度の大きいガスが上方に位置することになるので、パルスチューブ内で対流が生じて冷凍能力が低下する。このため、パルスチュー

ブ冷凍機ではパルスチューブの低温部が重力方向下部に、高温部が重力方向上部に位置するように配置することが性能向上のための条件となる。一方、ギフォード・マクマホン冷凍サイクル、スターリング冷凍サイクル、修正型ソルベー冷凍サイクルを採用した冷却部では、パルスチューブ冷凍機に比べて対流が起こり難いので、配置条件によって冷凍性能に変化が現れることは少ない。したがって、上述したパルスチューブ冷凍機の配置条件さえ満たすようにすれば、冷凍機の全長が短いことによる利点を最大限に発揮させることができる。

【0012】また、パルスチューブ冷凍機は、可動部分が全くないので、摺動シール要素を必要としない。したがって、最終段冷却部に高い冷凍能力を発揮させることができる。

【0013】

【実施例】以下、図面を参照しながら実施例を説明する。図1には本発明の一実施例に係る蓄冷式冷凍機を組込んだ超電導磁石装置、ここには冷凍機直冷方式の超電導磁石装置が示されている。

【0014】同図において、1は断熱容器としての真空容器を示している。この真空容器1は非磁性材で形成されている。真空容器1には、その上壁および下壁を一体に、かつ気密に貫通する筒状壁2が設けられている。そして、真空容器1内には筒状壁2を囲む環状の空間3を形成するように非磁性金属材で形成されたサーマルシールド4が配置されている。

【0015】サーマルシールド4によって形成された環状空間3内には、筒状壁2と同心的に超電導コイル5が配置されている。この超電導コイル5は、臨界温度がたとえば15 K程度の超電導線で形成されており、その両線端は臨界温度が50 K以上の酸化物超電導体等で形成された電流リード6a、6bの一端側に接続されている。電流リード6a、6bの他端側はサーマルシールド4とは絶縁状態にサーマルシールド4の外部に導かれて燐脱酸銅などで形成された電流リード7a、7bの一端側に接続されている。電流リード6a、6bと電流リード7a、7bとの接続部はサーマルシールド4の外面に取付けられた、たとえば窒化アルミニウム製のサーマルアンカ8a、8bに熱的に接続されている。電流リード7a、7bの他端側は真空容器1の上壁を貫通して設けられたブッシングを介して外部へ導かれている。また、超電導コイル5には、このコイルのたとえば軸方向における一方の端面に熱的に密接する関係に銅製の熱伝導部材9が配置されている。

【0016】真空容器1の内外には、一部が真空容器1内に位置し、残りが真空容器1外に位置して超電導コイル5の温度環境保持、具体的にはサーマルシールド4を50 K程度に、また超電導コイル5を5 K程度に冷却する機能を発揮する2段膨張式の蓄冷式冷凍機10が配置されている。

【0017】この蓄冷式冷凍機10は、コールドヘッド11と、ガス制御系12とで構成されている。コールドヘッド11は、第1段冷却部13と、これに直列に接続された第2段冷却部14とで構成されている。第1段冷却部13はギフォード・マクマホン冷凍サイクルを採用しており、また第2段冷却部14はパルスチューブ冷凍サイクルを採用している。

【0018】第1段冷却部13は、軸心線が重力方向に対して直交するように配置され、両端の閉じられたシリンダ15を備えており、このシリンダ15内には断熱材で形成されたディスプレーサ16が重力方向とは直交する方向に往復動自在に収納されている。そして、シリンダ15のヘッド壁部分に圧縮された冷媒ガスを膨張させて寒冷を発生する第1段冷却ステージ17が設けられている。この第1段冷却ステージ17、つまりシリンダ15のヘッド壁外面がサーマルシールド4に熱的に接続されている。なお、シリンダ15は、薄いステンレス鋼板等で形成されている。

【0019】ディスプレーサ16の内部には第1段の蓄冷器を構成するための流体通路18が軸方向に形成されており、この流体通路18にはたとえば銅で作られたメッシュ構造の蓄冷材19が収容されている。

【0020】ディスプレーサ16の外周面右端部、つまり常温に近い部分とシリンダ15の内周面との間には、シール装置20が装着されている。ディスプレーサ16の図中右端は、連結ロッド21、スコッチヨークあるいはクランク軸22等を介してモータ23の回転軸に連結されている。したがって、モータ23が回転すると、この回転に同期してディスプレーサ16が図中左右方向に往復動する。

【0021】シリンダ15の右方空間にはヘリウムガスの導入口24および排出口25が設けてあり、これら導入口24および排出口25はガス制御系12に接続されている。

【0022】ここで、ガス制御系12は、導入口24および排出口25をモータ23の回転に同期して開閉制御される高圧弁26、低圧弁27を介してコンプレッサ28に接続した構成となっている。ガス制御系12を構成しているコンプレッサ28、高圧弁26、低圧弁27は、シリンダ15を経由するヘリウムガス循環系を構成している。すなわち、低圧(約8 atm)のヘリウムガスをコンプレッサ28で高圧(約20 atm)に圧縮してシリンダ15内に送り込む動作と、シリンダ15内のヘリウムガスを排気する動作とを交互に行うようにしている。

【0023】一方、第2段冷却部14はサーマルシールド4で囲まれた空間に配置されており、次のように構成されている。すなわち、シリンダ15のヘッド壁にシリンダ15内に通じる関係に配管31の一端側を接続し、この配管31の他端側を第2段の蓄冷器32の一方の接

接続している。第2段の蓄冷器32は、断熱材で形成された容器33と、この容器33内に収容されたEr, Ni等からなる磁気相転移に伴う異常磁気比熱等を利用した磁性蓄冷材34とで構成されている。

【0024】第2段の蓄冷器32の他方の接続口は、第2段冷却ステージ35を構成する吸熱管36を介して上記吸熱管36より大径なバルスチューブ37の一端側に接続されている。このバルスチューブ37の他端側は、一方においてはオリフィスバルブ付のキャピラリーチューブ38を介して配管31内に通じており、他方においてはオリフィスバルブ付のキャピラリーチューブ39を介してサーマルシールド4と真空容器1の上壁との間に配置されたバッファータンク40に通じている。すなわち、この第2段冷却部14は、ダブルインレット方式を採用したバルスチューブ冷凍機を構成している。なお、図では省略しているが、バルスチューブ37の高温端およびバッファータンク40はサーマルシールド4に熱的に接続されて冷却されている。

【0025】ここで、蓄冷器32とバルスチューブ37とは次の関係に設けられている。すなわち、バルスチューブ37は低温端Aが重力方向下側、高温端Bが重力方向上側となるように配置されている。そして、バルスチューブ37の軸心線と蓄冷器32の軸心線とがほぼ平行で、かつこれら軸心線と重力方向との間の傾き角 $\theta$ が $0 < \pm 30$ 度となるように設定されている。また、この実施例では、バルスチューブ37の軸心線および蓄冷器32の軸心線とシリンダの軸心線との間の角度差がほぼ90度となるように設定されている。

【0026】第2段冷却ステージ35には、銅ブロックなどで構成された伝熱ブロック41が熱的に接続されており、この伝熱ブロック41と前述した熱伝導部材9とが銅材などで形成された伝熱材42で熱的に接続されている。

【0027】なお、図1中、43は超電導コイル5で発生した磁場の影響でモータ23の動作が阻害されるのを防止するための磁気シールドを示している。また、この図1では超電導コイル5やサーマルシールド4の位置保持手段などが省略されている。

【0028】次に、上記のように構成された超電導磁石装置の運転モード時の動作、特に超電導コイル5の温度環境保持動作を説明する。超電導コイル5の温度環境保持に必要な寒冷の発生は、第1段冷却ステージ17および第2段冷却ステージ35で行われる。第1段冷却ステージ17は熱負荷のない理想状態では30 K程度まで冷却される。また、第2段冷却ステージ35は4 K程度まで冷却される。したがって、ディスプレーサ16の左右端間には常温(300 K)から30 Kまでの温度勾配が生じ、また蓄冷器32の上下端間(バルスチューブ37の上下端間)には30 Kから4 Kまでの温度勾配が生じる。

【0029】モータ23が回転を開始すると、ディスプレーサ16が下死点(図中最右点)と上死点(図中最左点)との間を往復動する。ディスプレーサ16が上死点に達した時点で高圧弁26が開き、高圧ヘリウムガスがコールドヘッド11内に流入する。ディスプレーサ16の外周面とシリンダ15の内周面との間にはシール装置20が装着されているので、流入した高圧ヘリウムガスはディスプレーサ16に形成された流体通路18を通った後に蓄冷器32を経てバルスチューブ37へと流れる。この流れに伴って、バルスチューブ37へ流れ込む高圧ヘリウムガスは、まず蓄冷材19によって50 K程度に冷却された後に磁性蓄冷材34によってさらに5 K程度に冷却される。

【0030】ここで、ディスプレーサ16が下死点に達すると、高圧弁26が閉じ、低圧弁27が開く。このように低圧弁27が開くと、ディスプレーサ16とシリンダ15のヘッド壁との間の空間43に存在している高圧ヘリウムガスが断熱膨張して寒冷を発生する。この寒冷によって第1段冷却ステージ17が外部、つまりサーマルシールド4から吸熱する。この結果、サーマルシールド4は50 K程度の温度に冷却される。

【0031】一方、低圧弁27が開くと、バルスチューブ37内の高圧ヘリウムガスが断熱膨張して寒冷を発生する。この寒冷によって第2段冷却ステージ35が外部、この例の場合には伝熱ブロック41、伝熱材42、熱伝導部材9を介して超電導コイル5から吸熱する。この結果、超電導コイル5は、臨界温度以下の5 K程度に冷却される。

【0032】ディスプレーサ16が再び上死点へと移動すると、これに伴ってバルスチューブ37内の低温のヘリウムガスが第2段の蓄冷器32内に逆流し、この逆流で磁性蓄冷材34を冷却する。また、空間43の低温のヘリウムガスは流体通路18内を通過し、この通過の際に蓄冷材19を冷却する。したがって、シリンダ15の右端空間にはほぼ常温まで温度上昇したヘリウムガスが集まり、このガスが低圧弁27を介してコンプレッサ28へと排出される。なお、キャピラリーチューブ38、39およびバッファータンク40は、第2段冷却部14を構成しているバルスチューブ冷凍機での圧力変化位相とガスの変位位相との位相差を調整して効率の良い寒冷発生に寄与している。

【0033】上述したサイクルが繰り返されて超電導コイル5の温度環境保持が実行される。したがって、超電導コイル5は常に臨界温度以下の5 K程度に保持され、またサーマルシールド4は輻射によって超電導コイル5への熱侵入を抑制する50 K程度に保持される。

【0034】このように、本実施例に係る蓄冷式冷凍機では、第2段冷却部(最終段冷却部)14がバルスチューブ冷凍機を構成している。そして、このバルスチューブ冷凍機を構成するバルスチューブ37は、低温端Aが

重力方向下方に位置し、高温端Bが重力方向上方に位置している。また、バルスチューブ37の軸心線と蓄冷器32の軸心線とがほぼ平行で、かつこれらの軸心線と第1段冷却部（最終段冷却部以外の冷却部）13における軸心線との間にはほぼ90度の角度差を設けている。したがって、従来の冷凍機に比べて大幅に全長を短くでき、各種の冷却対象への適応性を高めることが可能となる。

【0035】ここで、バルスチューブ冷凍機の特性について説明する。バルスチューブ冷凍機の場合、バルスチューブ37の低温端Aを重力方向上部に、高温端Bを重力方向下部に配置すると、温度の低い密度の大きいガスが上方に位置することになるので、バルスチューブ37内で対流が生じて冷凍能力が低下する。

【0036】図2には重力方向に対するバルスチューブ37および蓄冷器32の軸心線の傾き角 $\theta$ が第2段冷却ステージ35の4Kにおける冷凍能力に与える影響を蓄冷器32の蓄冷材をパラメータとして調べた結果が示されている。この図において、 $\theta=0$ 度とはバルスチューブ37および蓄冷器32の軸心線が重力方向と平行で、かつバルスチューブ37の低温端Aが下方に、高温端Bが上方に位置していることを意味している。また、 $\theta=90$ 度とはバルスチューブ37および蓄冷器32の軸心線が重力方向に対して直交していることを意味し、 $\theta=180$ 度とはバルスチューブ37および蓄冷器32の軸心線が重力方向と平行で、かつバルスチューブ37の低温端Aが上方に、高温端Bが下方に位置していることを意味している。

【0037】この図2から判るように、4Kにおける冷凍能力は傾き角 $\theta$ に依存しており、 $\theta$ が大きくなるにつれて冷凍能力が大幅に低減する。特に、蓄冷器32の蓄冷材として $\text{Er}$ 、 $\text{Ni}$ で代表される磁性蓄冷材を使用した場合には、鉛を使用した場合に比べて影響が大きい。しかも、その傾向は $\theta=30$ 度あたりを境にして急激に強くなっている。このことは、逆に $\theta<30$ ではほとんど冷凍能力の低下が見られないことを示している。したがって、バルスチューブ冷凍機を用いる場合には $\theta<\pm 30$ の条件を守る必要がある。一方、ギフォード・マクマホン冷凍サイクルを採用している第1段冷却部13では、対流が起こり難いので、配置条件によって冷凍性能に変化が現れることはない。したがって、上述したバルスチューブ冷凍機の配置条件さえ満たしていれば、冷凍機の全長が短いことによる利点を最大限に発揮させることができる。

【0038】また、バルスチューブ冷凍機は、可動部分が全くないので、摺動シール要素を必要としない。したがって、最終段冷却部に高い冷凍能力を発揮させることが可能となる。

【0039】図4には本発明の別の実施例に係る蓄冷式冷凍機10aの模式的構成図が示されている。なお、この図では図1と同一機能部分が同一符号で示されてい

る。したがって、重複する部分の詳しい説明は省略する。

【0040】この実施例に係る蓄冷式冷凍機10aでは、バルスチューブ37の軸心線と蓄冷器32の軸心線とがほぼ平行で、かつこれらの軸心線の重力方向に対する傾き角 $\theta$ を $\theta<\pm 30$ 度に設定している。また、バルスチューブ37および蓄冷器32の軸心線と第1段冷却部13における軸心線との間にはほぼ180度の角度差を設けている。

【0041】このように構成しても図1に示す実施例と同様の効果を得ることができる。図3には本発明のさらに別の実施例に係る蓄冷式冷凍機10bの模式的構成図が示されている。なお、この図では、図1と同一機能部分が同一符号で示されている。したがって、重複する部分の詳しい説明は省略する。

【0042】この実施例に係る蓄冷式冷凍機10bが図1に示されるものと異なる点は、第1段冷却13がガス圧力可変機構51とでスターリング冷凍サイクルを構成していることにある。

【0043】すなわち、第1段冷却部13のディスプレーサ16は、連結ロッドやスコッチヨークなどの連結部材52を介してクランク室53内に設けられたクランク機構54に連結され、このクランク機構54の回転に同期して往復動制御される。なお、シリンダ15とクランク室53とはシール装置によって分離されている。また、クランク機構54は図示しないモータによって回転駆動される。

【0044】一方、ガス圧力可変機構51は、シリンダ55と、このシリンダ55内に往復動自在に配置されたピストン56とを備えている。ピストン56は、連結ロッドやスコッチヨークなどの連結部材57を介してクランク機構54に連結され、ディスプレーサ16の往復動位相に対して所定の位相差で往復動制御される。なお、シリンダ55とクランク室53とはシール装置によって分離されている。そして、シリンダ55とピストン56との間に形成された容積可変の空間58は、ガス通路59を介してシリンダ15とディスプレーサ16の背面との間に形成された空間に通じている。空間58、ガス通路59、シリンダ15、蓄冷器32、バルスチューブ37、バッファータンク40からなる閉じられた空間にはヘリウムガスが封入されている。

【0045】この実施例に係る蓄冷式冷凍機10bにおいても、バルスチューブ37の軸心線と蓄冷器32の軸心線とがほぼ平行で、かつこれらの軸心線の重力方向に対する傾き角 $\theta$ は $\theta<\pm 30$ 度に設定されている。また、バルスチューブ37および蓄冷器32の軸心線と第1段冷却部13における軸心線との間にはほぼ90度の角度差を設けている。

【0046】スターリング冷凍サイクルもギフォード・マクマホン冷凍サイクルも基本的には同じ冷凍原理を採用

している。すなわち、クランク機構 5 4 が回転すると、シリンダ 5 5 とピストン 5 6 とが空間 5 8 でヘリウムガスを圧縮して送り出す動作と、ヘリウムガスを空間 5 8 へ吸い込む動作とを繰り返す。したがって、ガス圧力可変機構 5 1 は、図 1 に示したコンプレッサ 2 8、高圧弁 2 6、低圧弁 2 7 からなるガス制御系 1 2 と等価な動作を行っていることになる。

【0047】このように構成しても図 1 および図 2 に示す実施例と同様の効果を得ることができる。なお、本発明は上述した実施例に限定されるものではない。すなわち、上記各実施例では、第 1 段冷却部にギフォード・マクマホン冷凍サイクルあるいはスターリング冷凍サイクルを採用しているが、修正型ソルベー冷凍サイクルを採用することもできる。また、上記各実施例では、冷却部を 2 段設けて冷却系統を構成しているが、3 段以上設けてもよい。さらに、パルスチューブ冷凍機のパルスチューブ高温端を常温部まで延出させたり、パルスチューブ冷凍機の位相制御機構を常温部に設けてもよい。さらにまた、パルスチューブの高温端を常温部に延出させる場合には、パルスチューブの高温部側に蓄冷材を收容して 20 常温部からの熱侵入を抑制するようにしてもよい。

【0048】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、冷凍機の全長を短くできるので、各種冷却対象への適用を可能化でき、しかも最終段冷却部を摺動シール要素を必要としないパルスチューブ冷凍機に構成しているの \*

\*で、最終段冷却部の冷凍性能を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の一実施例に係る蓄冷式冷凍機を組み込んだ冷凍機直冷式方式の超電導磁石装置の概略構成図

【図 2】パルスチューブおよび蓄冷器における軸心線の重力方向に対する傾き角  $\theta$  が冷却ステージにおける冷凍能力に与える影響を調べた結果を示す図

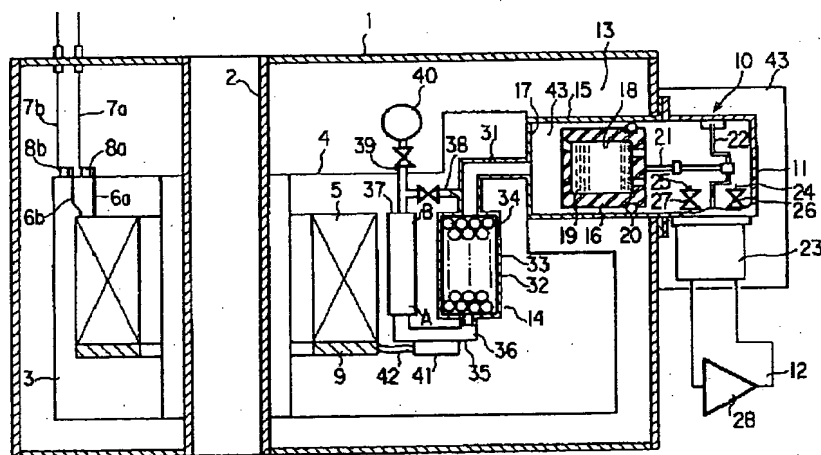
【図 3】本発明の別の実施例に係る蓄冷式冷凍機の模式的構成図

【図 4】本発明のさらに別の実施例に係る蓄冷式冷凍機の模式的構成図

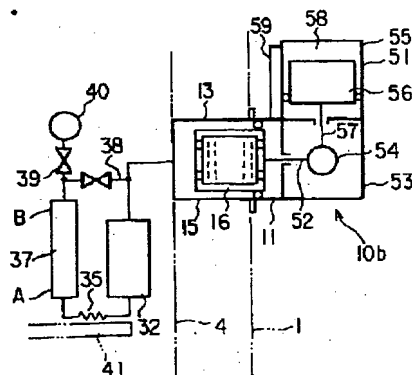
【符号の説明】

- 1…断熱容器としての真空容器
- 4…サーマルシールド
- 5…超電導コイル
- 10, 10a, 10b…蓄冷式冷凍機
- 11…コールドヘッド
- 12…ガス制御系
- 13…第 1 段冷却部
- 14…第 2 段冷却部
- 17…第 1 段冷却ステージ
- 32…蓄冷器
- 35…第 2 段冷却ステージ
- 37…パルスチューブ
- 51…ガス制御系としてのガス圧力可変機構

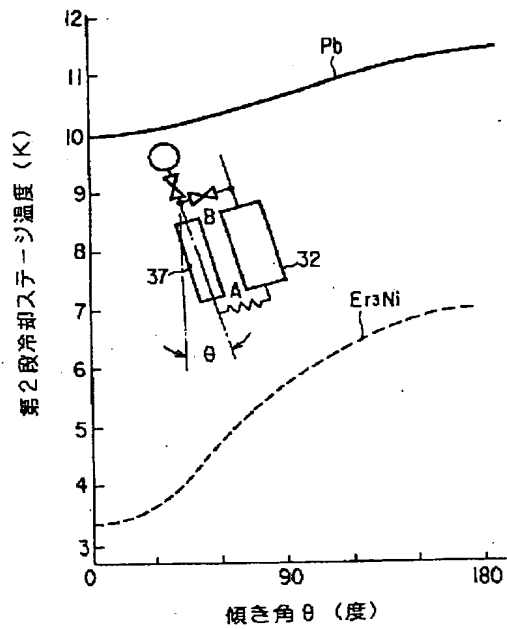
【図 1】



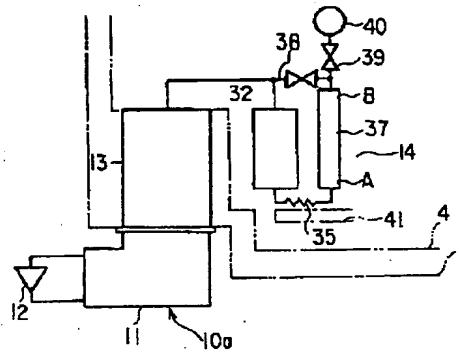
【図 4】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 吉野 達哉  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 小林 孝幸  
神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地  
株式会社東芝京浜事業所内